

氏名(本籍)	茂木貴弘(埼玉県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第6886号		
学位授与年月日	平成26年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	超音波の音速と減衰に基づく温湿度計測法に関する研究		
主査	筑波大学 教授	工学博士	水谷孝一
副査	筑波大学 教授	工学博士	藪野浩司
副査	筑波大学 教授	Ph.D.(工学)	堀憲之
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	若槻尚斗
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	前田祐佳
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	海老原格

論文の要旨

本論文では、感温・感湿素子を用いない、新しい温湿度計測法として、超音波の音速と減衰に基づく温湿度計測法の確立を目的としている。既存の温湿度センサは、周辺空気と感温・感湿素子の間での熱や水分移動の平衡条件を利用して、感温・感湿素子の温湿度特性に基づき空気の温湿度を計測していた。そのため、素子近傍の温湿度しか計測できず、計測に応答遅れがあった。さらに、センサに光が当たると熱輻射で感温素子が加熱され温度誤差が生じ、感湿素子が汚れると吸水脱水性が低下して湿度誤差が生じる問題があった。本研究で提案された超音波温湿度計測法は、空气中を伝わる超音波の音速と減衰係数が気温と湿度に依存して変化する性質を応用したもので、音速と減衰係数を計測し気温と湿度を逆推定するものである。よって、提案法は空気自体を感温・感湿素子とするため、以上の問題点を解決できると期待される。

第2章では、音速の気温依存性を応用した既存手法である超音波気温計測法について述べている。この手法は音速の湿度依存性を無視しているため気温誤差が生じることを指摘している。音速の理論式に基づき湿度による気温誤差を解析した結果、高温高湿度になるほど気温誤差が大きくなり運用困難であることが明らかにされた。そこで、本研究では音速に加えて超音波の減衰係数に着目している。

第3章では、超音波の減衰係数を提案法へ応用可能かの基礎的検証として、気温既知としたときの減衰係数の湿度特性の実測及び計測された減衰係数からの湿度逆推定を試みている。検証実験の結果から、湿度50から80%RHの範囲で概ね±5%RHの精度で湿度計測を実現できることが確認された。このことから、空気の減衰係数の計測結果を温湿度推定へ応用する有用性が示唆された。

第4章では、第3章の考察を踏まえ、音速と減衰係数を同時計測し気温と湿度を逆推定する提案法を実測検証している。その結果、第2章で指摘した従来法の問題点を改善し、気温 293 K から 308 K、湿度 50%RH から 90%RH の湿り空気中において ± 0.5 K 以内の実用精度が達成された。また、従来未確立な超音波湿度計測を実現させ、誤差解析により湿度精度向上のためには減衰係数の計測精度向上が必要であることを明らかにした。

第5章では、第4章で確認された計測精度を向上させるために、諸外乱の影響の評価と対策について考察している。まず、本計測法の雑音耐性を向上させるために、インバースフィルタを用いる音速と減衰の同時計測法を提案している。検証実験を行った結果、インバースフィルタによって正弦バースト信号をパルス圧縮しチャープ信号と同程度の音速計測精度を実現し、同時に、減衰計測における信号対雑音比を向上させることにより減衰係数計測の標準偏差を第4章の結果に比べ2/3程度へ低減させて精度を向上させた。次に、外乱としての気圧変動や対流、温湿度分布が計測へ与える影響について考察している。気圧変動が存在する場合でも提案法の実用精度を確保するために、気圧センサを利用した気圧補償法を提案し、気圧変動が生じた場合でも有効に利用できることが示された。また、空気の流れにより生じる音速と減衰係数の誤差や、温湿度分布が存在する場合の超音波の屈折による減衰係数の誤差についても評価している。最後に、以上の諸外乱への対策を備え、最終的に構築されたシステムを用いて、提案法の即応答性について検証している。その結果、既存の温湿度センサで達成不可能であった即応答計測を実現でき、従来観測できなかった瞬時的な温湿度変化が計測可能であることが確認された。また、提案法は既存センサと同程度の計測精度（気温精度 ± 0.5 K、湿度精度 $\pm 5\%$ RH）を有し、実用可能であることが示された。

第6章では、本研究で得られた成果をまとめ、提案法である超音波の音速と減衰計測に基づく温湿度計測法は、従来未確立な感温・感湿素子を用いない温湿度計測法として有用であることが示された。

審 査 の 要 旨

【批 評】

本研究では、一对の超音波送受波器での温湿度計測法について様々な検証を行い、本計測法を確立している。本計測法は、感温・感湿素子を必要としない画期的な温湿度計測法である。そのため、既存の温湿度センサでは達成不可能な瞬時的な温湿度計測が可能であり、従来観測できなかった温湿度変化が計測できるようになることで、空気性状にかかる物性・現象の新規解明に資することができると考えられる。さらに、本計測法を基礎原理としてCT法等を適用すれば、従来観測困難であった空間温湿度分布の計測も可能となり、本計測法に基づく制御技術の発展にも大きな貢献が期待される。

【最終試験の結果】

平成26年1月21日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結 論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。